УДК 552.578.2:553.982(571.16)

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНИКОВ ПЛАСТА $Ю_1^3$ ЗАПАДНО-МОИСЕЕВСКОГО УЧАСТКА ДВУРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н.М. Недоливко, А.В. Ежова, Т.Г. Перевертайло, Е.Д. Полумогина

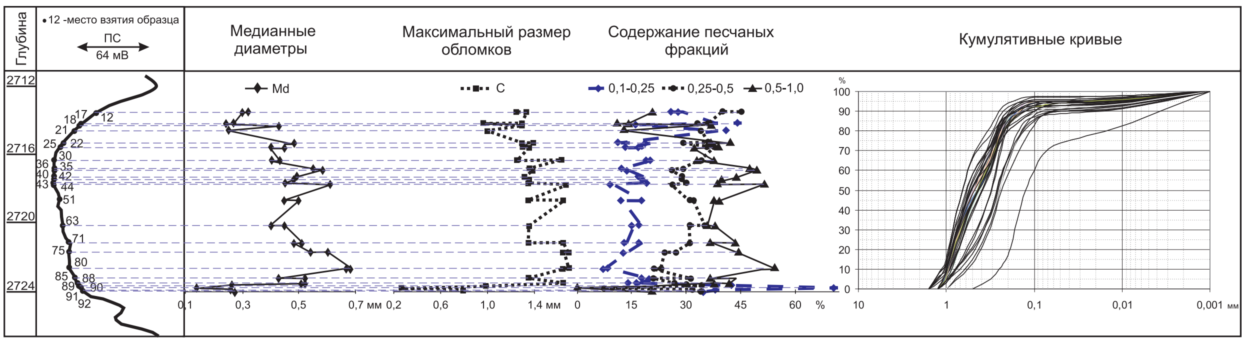
Томский политехнический университет
E-mail: nedolivko@ngf.tomsk.ru

В результате количественных петрографических исследований песчаников пласта $Ю_1^3$, вскрытых скважиной 31Р на Западно-Моисеевском участке Двуреченского месторождения, показано, что коллектор относится к гранулярному типу, сложен средне отсортированными (So=2,1...3,5) крупно-средне-мелкозернистыми (медианный диаметр от 0,26 до 0,68 мм) граувакко-аркозовыми песчаниками, в которых кварц (62 %) резко преобладает над полевыми шпатами (12 %) и обломками пород (25 %). Цементация осуществляется конформным и инкорпорационным способами с преобладанием вторичных линейных и вогнутых контактов над первичными точечными, а также кварц-каолинитовым цементом (до 10 %) с примесью гидрослюды, пирита, кальцита и неразделенного глинистого материала. Пористость и проницаемость возрастают с увеличением максимальных и медианных размеров обломков, ростом содержания крупнопсаммитовых фракций, кварца, слабоизмененных полевых шпатов, кислых пород. Отрицательно сказывается на формирование коллекторских свойств увеличение содержания цемента, сильно измененных полевых шпатов, слюд, доли вторичных линейных контактов. Устанавливается высокая положительная корреляция коллекторских свойств с размером и объемом остаточных пор.

Введение

По данным лаборатории физики пласта ОАО "ТомскНИПИНефть" песчаники пласта $Ю_1^3$ васюганской свиты, вскрытого в интервале глубин 2713,0...2724,0 м скважиной 31Р на Западно-Моисеевском участке Двуреченского месторождения Томской области, характеризуются высокими значениями пористости (15,4...23,2 %) и проницаемости (40,3...2370,2 мД). С целью установления факторов, объясняющих высокие емкостно-фильтрационные характеристики песчаных пород интеграционным способом по методике О.А. Черникова [1] проводился количественный петрографичесий анализ 38 шлифов. Шлифы изготавливались обычным способом и с использованием предварительного насыщения под давлением окрашенной смолой из образцов, в которых определялись коллекторские свойства.

В административном отношении район работ расположен на юго-западе Каргасокского района Томской области; в тектоническом плане – на северо-западном склоне Западно-Моисеевской структуры, осложняющей Моисеевское куполовидное поднятие, расположенное в южной части Каймысовского свода (Верхневасюганский антиклинорий) [2].



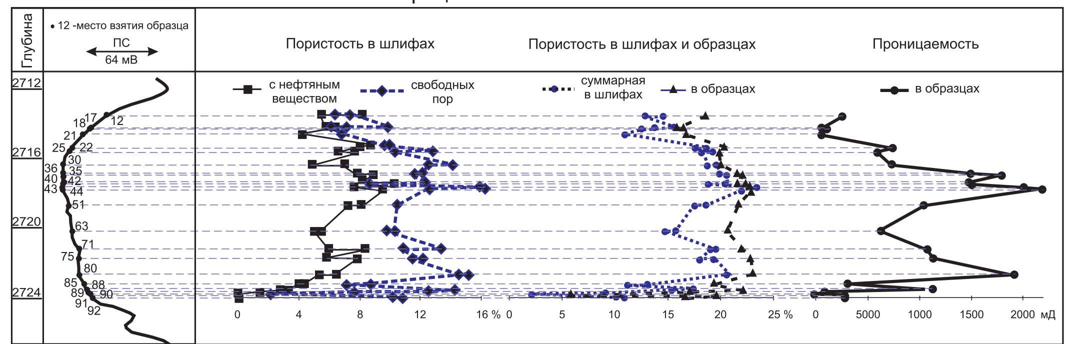


Рис. 1. *Геофизическая, гранулометрическая и фильтрационно-емкостная характеристики песчаников*

1. Гранулометрический состав

Песчаники пласта $Ю_1^3$ характеризуются крупно- и среднезернистым составом, обломочный материал в них имеет разнообразную форму: хорошо окатанные и полуокатанные образования, четко выраженные кристаллографические очертания, угловатые обломки и щепковидные реликты выщелоченных зерен.

Медианный диаметр зерен (Md) варьирует от 0,26 до 0,68 мм. Закономерного изменения размеров зерен по пласту не наблюдается, не отмечается также соответствия изменения гранулометрии с конфигурацией кривой самопроизвольной поляризации (ПС). Последняя имеет регрессивный характер, но на графиках изменения гранулометрических характеристик пород видно, что наибольшие значения средних, максимальных (С) размеров зерен и содержания крупнозернистой фракции отмечаются как в нижней, так и в средней частях пласта (рис. 1).

Кумулятивные кривые по всем образцам имеют крутой характер, коэффициент отсортированности по разрезу изменяется в пределах 2,1...3,5, свидетельствуя о средней степени сортировки обломочного материала. Средняя степень сортировки обломков хорошо видна в шлифах: наряду с крупными размерами зерен, в поле зрения наблюдаются и мелкие.

2. Минералогический состав терригенной части песчаников

В минералогическом составе породообразующей части песчаников 58...65 % составляют зерна *кварца* (рис. 2), реже – халцедоновидного кварца.

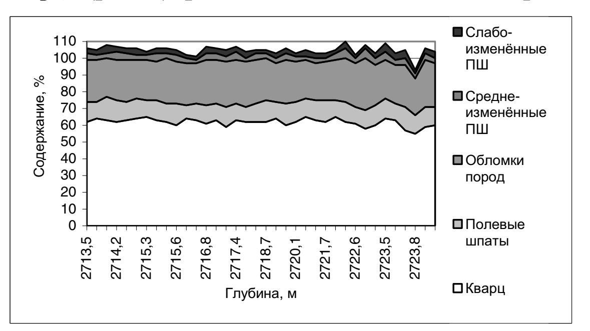


Рис. 2. *Компонентный состав терригенной части песчаников*

При этом, наряду с аллотигенными зернами, присутствуют в больших количествах аутигенные новообразованные кристаллы (регенерации подвержено до 35 % обломочных кварцевых зерен). *Седиментогенные* зерна кварца имеют полуокатанную форму, прямое погасание; в них встречаются включения акцессорных минералов, россыпь мелких зерен слюды, иногда в них видны трещинки, запол-

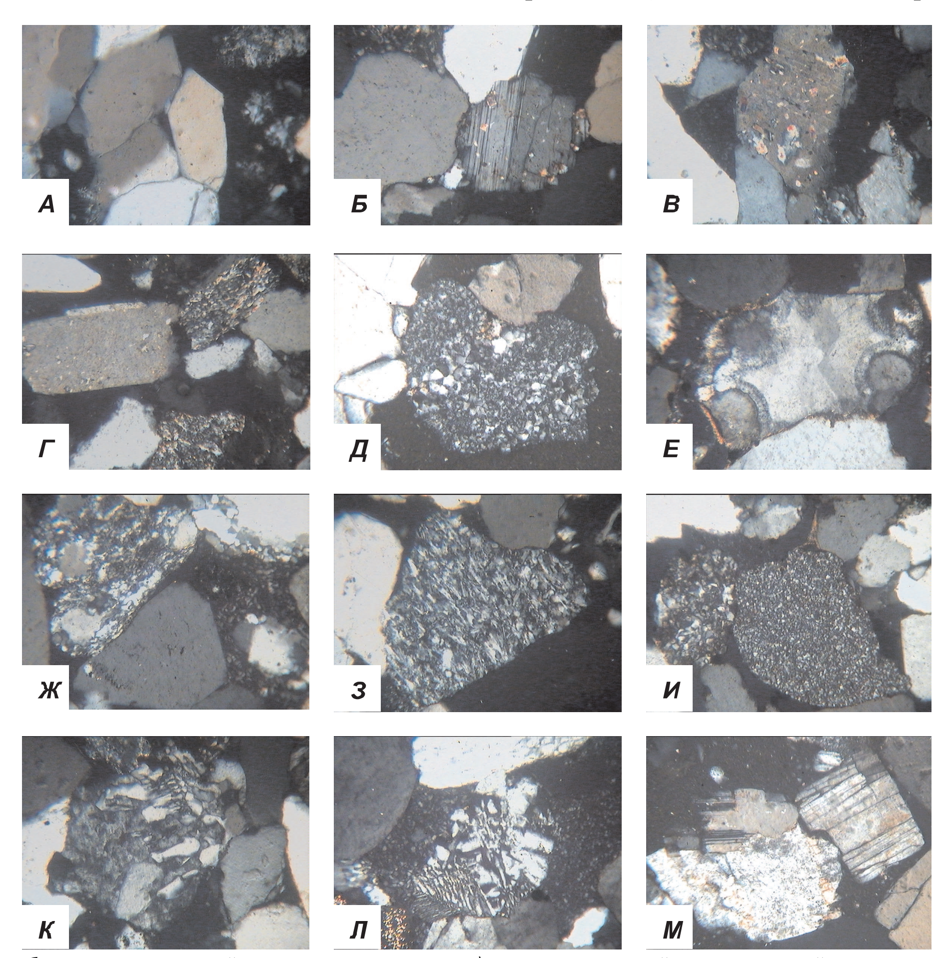


Рис. 3. *Особенности терригенной части песчаных пород: А) регенерированный кварц; в разной степени измененные полевые шпаты: Б, В) слабо- и среднесерицитизированные плагиоклазы, Г) сильно измененные полевые шпаты; Д, Е) обломки кремнистых пород; Ж, З, И) обломки кислых эффузивов; К, Л) обломки гранитоидов; М) обломок гранита*

ненные нефтяным веществом и слюдой. *Аутигенный* кварц растет в свободном пустотном пространстве и имеет хорошо выраженные грани (рис. 3, *А*). Новообразованные каемки, имея одинаковую ориентировку с материнским ядром, часто нарастают на нем без видимых переходов, реже отделены от основного зерна пылеватыми частицами, нефтяным веществом, щеточками слюд.

Полевые шпаты (ПШ), содержание которых составляет 9...14 %, представлены ортоклазами и плагиоклазами. Они в разной степени подвержены вторичным преобразованиям: трещиноватости, выщелачиванию, ожелезнению, серицитизации и пелитизации. Проявление двух последних процессов привело к образованию слюдистых и глинистых обломков, которые имеют хорошо выраженную прямоугольную форму, что и позволило считать их продуктами вторичных изменений ПШ. Среди ПШ слабо измененные разности (рис. 3, *Б*) встречаются очень редко, а преобладают средне- (рис. 3, *В*) и интенсивно- (рис. 3, *Г*) измененные.

Обломки пород составляют 23...28 %; в их составе преобладают кремнистые, которые совместно с кремнисто-слюдистыми агрегатами составляют 8...12 %. Соотношение пород разного состава и обломков минералов показано на рис. 4.

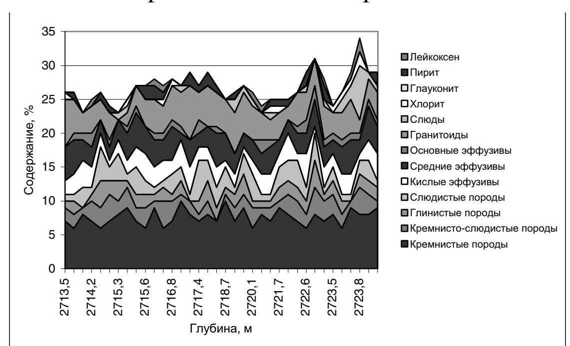


Рис. 4. *Соотношение обломков минералов и пород разного состава*

Кремнистые обломки (рис. 3, *Д, Е*) представлены: кварцитами (агрегатами разнообразных кварцевых зерен, плотно примыкающих друг к другу), радиоляритами (скоплениями мелких округлых образований с радиальной структурой), спонголитами (скоплениями спикул губок). Отмечаются зерна кварца с оолитами. Последние имеют диаметр 0,2 мм и состоят из кварцевого ядра и тонкой (0,02 мм) оболочки-инкрустации из кварцевых иголочек. Кремнисто-слюдистые обломки состоят из агрегатов серицита с параллельным расположением чешуек и микрозернистого кварца. Встречаются также обломки рассланцованной кремнистой породы с удлиненными субпараллельными зернами кварца в микрозернистом кремнистом агрегате. Обломки эффузивов составляют в целом 3...9 %. Они представлены преимущественно кислыми разностями (рис. 3, *Ж, З, И*): в разной степени раскристаллизованным вулканическим стеклом и кварцевыми порфирами. Кроме кислых, отмечаются также средние (андезиты) и очень редко – ожелезненные и хлоритизированные основные эффузивы. В составе гранитоидов отмечаются обломки гранитов, гранит-порфиров и пегматитов, часто присутствуют зерна с графической структурой и мирмекитовым строением (рис. 3, К, Л).

Второстепенные минералы составляют в сумме не более 4 %. Они представлены слюдами, хлоритом, скоплениями мелких зерен *пирита* и *лейкоксена*. К акцессорным относятся сфен, часто лейкоксенизированный, турмалин, циркон, рутил, апатит.

3. Характеристика цементирующего материала, структура пустотного пространства и нефтенасыщение

Содержание цемента в песчаниках составляет не более 10 %. Цемент распространен неравномерно, в его составе встречаются разные минералы, но преобладающим является каолинит (рис. 5). Минерал заполняет поры между зернами, образуя поровый тип цементации. Он имеет хорошо выраженную вторичную кристаллическую структуру, развит в виде крупнопакетных равномернокристаллических агрегатов.

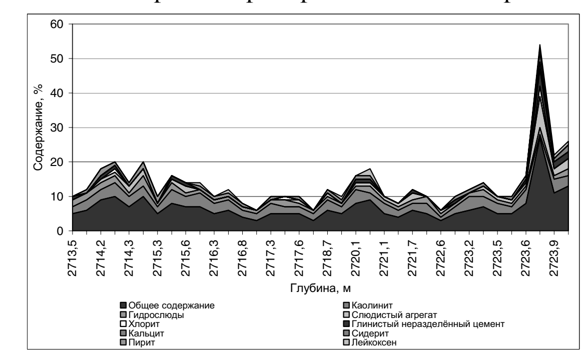


Рис. 5. *Изменение состава цементов песчаников*

Часть цемента представлена гидрослюдами, которые окружают полностью или частично обломочные зерна, образуя пленочный тип цементации. Иногда пленки вокруг зерен выполняют скопления мелких кристаллов пирита.

Кроме заполнения пустотного пространства минеральным веществом, цементация обломков осуществляется за счет взаимных контактов зерен между собой. Линейные и вогнутые контакты встречаются примерно в равных соотношениях и значительно чаще, чем точечные. Последние, как правило, образуются на контакте регенерированных зерен.

В песчаниках изучаемого разреза отмечаются крупные сообщающиеся между собой поры (рис. 6). Размеры пор варьируют в широких пределах: 0,05...0,72 мм. Преобладают межзерновые поры (рис. 6, *А, Б, В*). Их величина и морфология определяются двумя факторами: подновлением первичных седиментогенных пор процессами растворения зерен и ростом новообразованных кристаллов кварца в свободном пространстве. Кроме межзерновой пористости в песчаниках хорошо развита внутризерновая пористость. Она наиболее заметно проявилась в зернах полевых шпатов при растворении вещества по спайности и двойниковым швам (рис. 6, *В, Д*), а

также при выщелачивании компонентов агрегатных пород (гранитоидов, эффузивов и кварцитов. В отдельных случаях внутризерновые поры образовались между материнским ядром и каймой регенерации в кварцевых зернах (рис. 6, *Е*). Размеры внутризерновых пор самые разнообразные, но ограничены пределами обломочных зерен. Третий тип пустотного пространства образуется между пакетами раскристаллизованного в порах каолинита (рис. 6, *Ж, З*).

Часть пор в песчаниках заполнена нефтяным веществом (рис. 6, *Б, Г, Д, Е, З, И*), количество которого уменьшается вниз по разрезу: коэффициент нефтенасыщения по шлифам изменяется от 9,5 до 1,5 %. Цвет нефтяного вещества варьирует от темно-желтого до темно-бурого, почти черного в нижней части пласта, а в образцах 91 и 92 (глуб. 2723,89 и 2723,98 м) видны только примазки черного битуминозного вещества. Нефтяное вещество в шлифах распространено неравномерно: концентрируется по краям пор, заполняет промежутки между зернами, иногда обильно пропитывает зерна полевых шпатов, обломки гранитоидов, эффузивов и кремнистых пород.

В отдельных участках темно-бурое нефтяное вещество (битум) ассоциирует с пиритом. Крупные поры остаются свободными. Это объясняется тем, что легкие фракции улетучиваются еще при извлечении керна, затем испаряются при изготовлении шлифов, а тяжелые окисленные более вязкие компоненты сохраняются в относительно мелком пустотном пространстве.

Свободное пустотное пространство вместе с порами, заполненными нефтяным веществом, составляет 9,2...23,5 %, и, в общем, соответствует аналитическим значениям открытой пористости и проницаемости.

4. Факторы, определяющие коллекторские свойства

Анализ взаимозависимостей между вещественными и структурными характеристиками пород (с одной стороны) и их пористостью и проницаемостью (с другой) показывает, что фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) песчаников формируются под влиянием многих факторов. Значения парных коэффициентов корреляции между гранулометрическими, минералогическими и емкостными характеристиками пород часто неустойчивые и варьируют в широких пределах (табл. 1–4, рис. 7). Однозначное влияние на формирование коллекторских свойств песчаников оказывают грануломет-

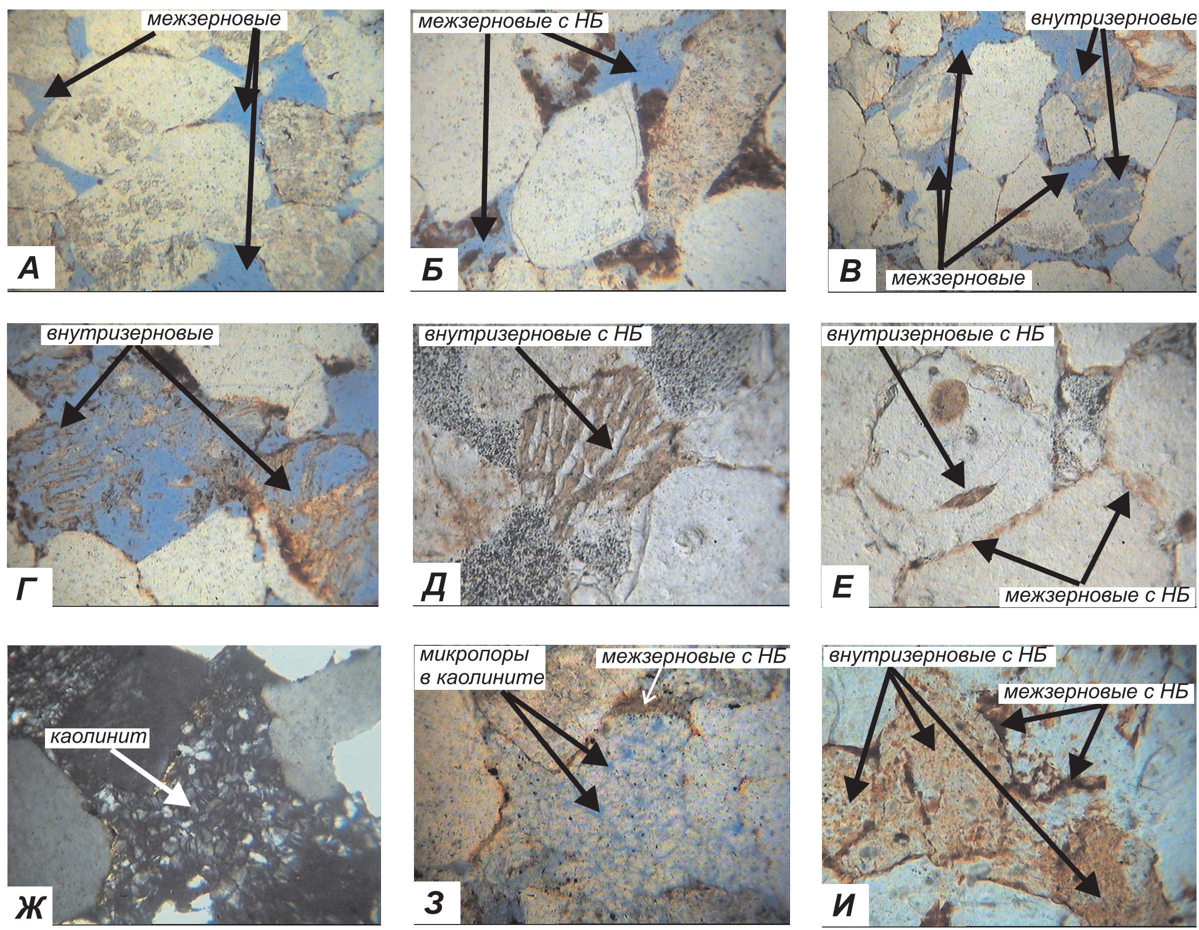


Рис. 6. *Особенности пустотно-порового пространства в песчаниках: А) свободные межзерновые поры; Б) межзерновые поры, частично заполненные нефтяным битумом (НБ); В) сочетание межзерновой и внутризерновой пористости; Г) внутризерновые поры, частично заполненные НБ; Д) внутризерновые поры, заполненные НБ; Е) внутризерновые и межзерновые поры, заполненные НБ; Ж) каолинитовый поровый цемент, З) свободные микропоры в каолинитовом цементе, И) микропоры в каолинитовом цементе и межзерновые поры, заполненные окисленным НБ*

Таблица 1. *Значения коэффициентов корреляции между ФЕС и гранулометрическими параметрами песчаников*

Колекторские свойства	Размеры фракций, мм															Гранулометрические показатели		
	2,0...1,6	1,64...,25	1,25...1,0	1,0...0,8	0,8...0,5	0,5...0,315	0,315...0,25	0,25...0,2	0,2...0,16	0,16...0,125	0,125...0,1	0,1...0,08	0,08...0,05	0,05...0,01	< 0,01	C, мм	Md, мм	So
Пористость	0,46	0,67	**0,70**	**0,81**	**0,82**	0,35	-0,18	-0,51	**–0,82**	**–0,86**	**–0,90**	**–0,84**	**–0,79**	**–0,75**	**–0,90**	**0,84**	**0,82**	-0,54
Проницаемость	0,49	0,68	0,65	**0,83**	**0,72**	-0,12	-0,51	-0,67	-0,59	-0,55	-0,62	-0,57	-0,46	-0,23	-0,64	0,63	**0,83**	-0,13

Таблица 2. *Значения коэффициентов корреляции между ФЕС, контактируемостью обломков и поровым пространством песчаников*

Коллекторские свойства	Контактность обломков						Поровое пространство			Коллекторские свойства	
	типы контактов			коэффициенты							
	линейные	вогнутые	точечные	контактности	плотности	упаковки	максимальный размер пор	объем свободных пор	объем пор с нефтяным битумом	пористость	проницаемость
Пористость	-0,22	0,10	0,15	-0,57	-0,65	-0,47	**0,76**	**0,78**	0,54	**1,00**	**0,74**
Проницаемость	-0,41	0,05	0,39	-0,42	-0,58	-0,36	**0,76**	**0,74**	0,53	**0,74**	**1,00**

Таблица 3. *Значения коэффициентов корреляции между ФЕС и минералогическим составом терригенной части песчаников*

Коллекторские свойства	Состав обломков																
	кварц	полевые шпаты				породы								минералы			
		общее	сильно измененные	средне измененные	слабо измененные	общее	кремнистые	кремнисто-слюдистые	глинистые	слюдистые	кислые эффузивы	основные эффузивы	гранитоиды	слюды	хлорит	пирит	лейкоксен
Пористость	0,50	-0,20	-0,33	-0,11	0,31	0,22	-0,01	-0,33	0,03	0,13	0,14	-0,10	0,25	-0,66	-0,35	0,15	-0,58
Проницаемость	0,25	-0,37	-0,45	-0,14	0,24	0,19	0,03	-0,36	0,05	0,17	0,01	0,00	0,26	-0,24	-0,13	0,20	-0,36

Таблица 4. *Значения коэффициентов корреляции между ФЕС и минералогическим составом цементов песчаных пород*

Коллекторские свойства	Состав цемента									
	общее	каолинит	гидрослюды	слюды	хлорит	глинистый неразделенный	кальцит	сидерит	пирит	лейкоксен
Пористость	**–0,89**	-0,08	-0,47	-0,38	**–0,71**	**–0,75**	**–0,75**	**–0,71**	-0,34	-0,27
Проницаемость	-0,59	-0,51	-0,47	-0,38	-0,22	-0,41	-0,23	-0,32	-0,36	-0,24

рические параметры: сдвиг гранулометрического равновесия в сторону повышения содержания крупных фракций напрямую отражается на увеличении их коллекторских свойств.

Графики изменения по разрезу пористости и проницаемости, медианных, максимальных размеров зерен и содержания песчаных фракций в грубом приближении дублируют друг друга (рис. 1). При этом, несмотря на то, что прочная положительная корреляция устанавливается между коллекторскими свойствами и максимальными или медианными размерами обломков (значения коэффициентов корреляции более 0,63), теснота положительной связи в гранулометрическом спектре определяется в основном областью крупнозернистых фракций, теснота отрицательной связи – содержанием мелкозернистых обломков, в то время как увеличение содержания среднезернистого материала неоднозначно и слабо коррелирует с емкостно-фильтрационными свойствами песчаников (табл. 1, рис. 7). Степень отсортированности осадка также оказывает влияние на пористость и проницаемость коллектора: коллекторы, сложенные более однородными по размеру зернами обладают лучшими емкостно-фильтрационными свойствами, при этом корреляционная зависимость пористости от степени отсортированности осадка гораздо выше, чем проницаемости.

Коллекторские свойства снижаются и в случаях возрастания контактности обломков между собой, их упаковки и плотности (табл. 2, рис. 7). При этом в песчаниках с повышенной емкостью наблюдается увеличение доли первичных точечных и вторичных конформных (вогнутых) контактов над инкорпорационными (линейными).

Значения пористости и проницаемости исследуемых отложений коррелируются с основными породообразующими компонентами вещественного состава терригенной части песчаников (табл. 3, рис. 7). Преобладание кварца, слабо измененных полевых шпатов и гранитоидов, т.е. обломков с жестким каркасом над пластичными (глинистыми и слюдистыми) отражается в увеличении как пористости, так и проницаемости (положительные, хотя и не очень высокие значения коэффициентов парной корреляции), так как жесткий каркас препятствует уплотнению пород при катагенезе. Напротив, рост содержания полевых шпатов, в составе которых преобладают сильно- и среднеизмененные разности над неизмененными и слабоизмененными, отражается в отрицательной корреляции с этими параметрами.

Значения коэффициентов корреляции между фильтрационно-емкостными характеристиками и количеством цемента во всех случаях отрицательные (табл. 4, рис. 7). Даже увеличение содержания хорошо раскристаллизованного каолинита, между пакетами которого образуются свободные промежутки, не сказывается положительно на увеличение емкостных свойств из-за частого запечатывания межпакетных пор в каолините окисленным битумом.

Фильтрационно-емкостные свойства песчаников улучшаются с увеличением размеров остаточных седиментогенных пор. Значения коэффициентов корреляции между емкостными характеристиками по-

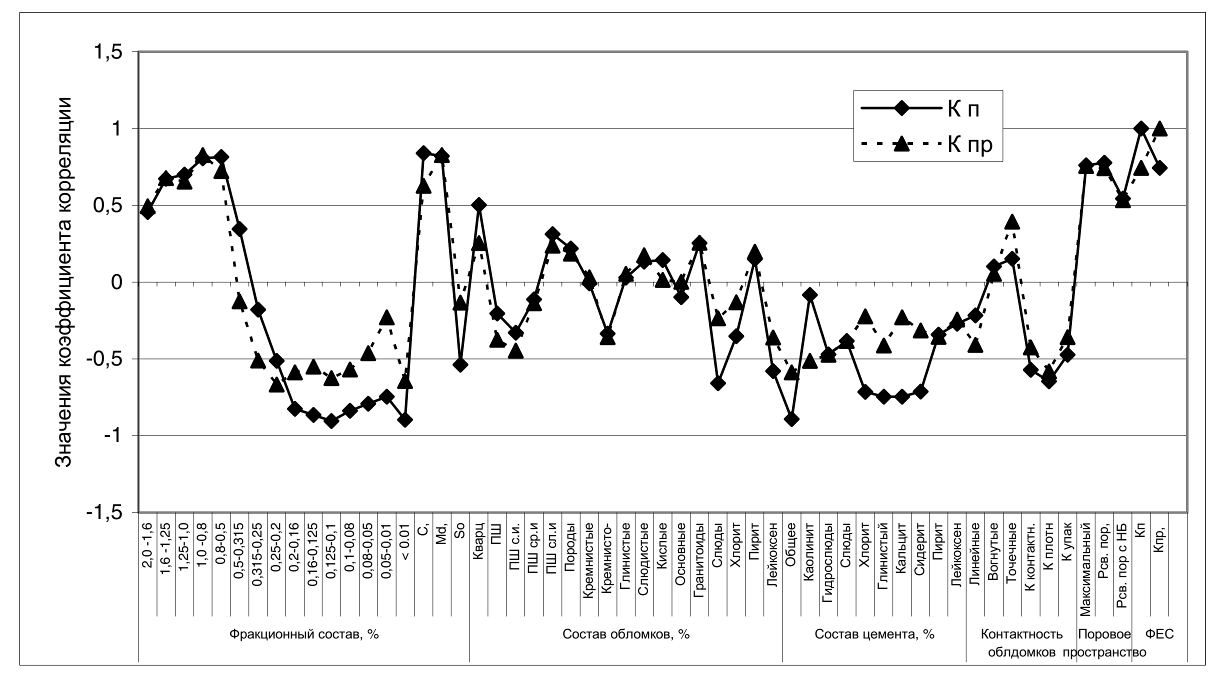


Рис. 7. *Изменение коэффициента корреляции между структурно-минералогическими параметрами и коллекторскими свойствами: Кп — коэффициент пористости; Кпр — коэффициент проницаемости; ПШ: с. и., ср. и., сл. и — ПШ: сильно-, средне- и слабоизмененные; Р св. пор. — объем свободных пор; Р св. пор с НБ — объем пор, заполненных нефтяным веществом*

род и объемом свободного пустотного пространства высоки (табл. 2, рис. 7), так как первичного цемента очень мало, а поровое пространство в значительной степени формируется при подновлении растворением остаточных седиментогенных пор. Устанавливается высокая положительная корреляция коллекторских свойств песчаников как с размером, так и с объемом свободных пор, менее значима положительная корреляция с объемом пор, заполненных битумом.

Таким образом, влияние вещественных и структурных характеристик пород в значительной мере отражается на проницаемости и на пористости изученных песчаных пород. Анализ взаимозависимостей проницаемости с параметрами гранулометрического и вещественного состава по пласту $Ю_1^3$ в целом показывает, что коллекторы относительно однородны по составу, строению и степени вторичных преобразований. Несмотря на то, что в ряде случаев разброс индивидуальных точек значителен, статистические связи между основными параметрами гранулометрического и вещественного состава с фильтрационно-емкостными параметрами в целом довольно высоки. Физические параметры пород-коллекторов и теснота корреляционных связей определяются гранулометрическим и минералогическим составом терригенной части, степенью отсортированности обломочного материала, количеством и типом цемента, степенью уплотненности пород, типом межзерновых контактов, а также структурой, размером и объемом порового пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черников О.А. Комплекс методов количественного изучения песчано-алевритовых пород в связи с оценкой их коллекторских свойств // Литологические исследования пород-коллекторов в связи с разведкой и разработкой нефтяных месторождений. – М.: Наука, 1970. – С. 26–48.
2. Тектоническая карта фундамента Западно-Сибирской плиты масштаба 1:2500000 / Под ред. В.С. Суркова. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1981.

УДК 624.131